



M²OLIE – Mannheim Molecular Intervention Environment



Abschlussbericht **- Inhaltlicher Bericht -**

Forschungscampus M²OLIE:

Entwicklung einer Systemplattform für die minimalinvasive, assistierte molekulare Intervention (M²INT)

TP3: Navigierte molekulare Diagnostik und Therapie¹

Zuwendungsempfänger:

Hochschule Mannheim

Prof. Dr. Marcus Vetter / EMB-Lab Fakultät für Informationstechnik

Förderkennzeichen: 03FO12501C

Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2013 – 31.05.2014 (Aufstockung 01.02.2014 - 31.05.2014)

Berichtszeitraum: 01.02.2013 – 31.05.2014

¹ Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03FO12501C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhalt

1	Allgemeines.....	3
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Voraussetzungen	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4	Vorarbeiten	5
1.5	Projektpartner	5
2	Eingehende Darstellung.....	5
2.1	Verwendung der Zuwendung und Ergebnis der Vorphase	5
2.2	Verwendung der Zuwendung und Ergebnis der Aufstockung	16
2.3	Zahlenmäßiger Nachweis	21
2.4	Notwendigkeit der Zuwendung	22
2.5	Ergebnisverwertung.....	22
2.6	Veröffentlichungen und Dienstreisen.....	22

1 Allgemeines

Die effiziente Durchführung einer assistierten molekularen Intervention hängt zu einem großen Teil vom Integrationsgrad verschiedener medizintechnischer, diagnostischer und therapeutischer Verfahren ab. Dieser Integrationsgrad wird heute nicht erreicht und verhindert häufig die Nutzung und Weiterentwicklung der molekularen Intervention. Im Forschungscampus M²OLIE sollen die Methoden, Abläufe und die Infrastruktur der beteiligten Spezialisten für Medizin, Biotechnologie, Physik und Ingenieurwesen zukünftig in einem Zentrum zusammengefasst und funktionell integriert werden. Im Mittelpunkt dieses Zentrums steht der Interventionsraum, in dem die Behandlung des Patienten schließlich stattfindet.

Das EMB-Lab unter Leitung von Prof. Dr. M. Vetter an der Hochschule Mannheim bearbeitete als Teilprojekt 3 des Leitprojekts 1 - M²INT des Forschungscampus M²OLIE die Themen der medizinischen Navigation und Registrierung, Visualisierung und Benutzerschnittstelle sowie der Inline-Bildgebung und Sensorik.

Die Expertise des EMB-lab liegt insbesondere im Bereich von Embedded Systems in Steuerungs- und Regelungstechnik, Sensorik und Aktorik, Echtzeitsystemen und integrierten Navigationssystemen, vor allem im Bereich der Medizintechnik.

1.1 Aufgabenstellung

Das EMB-Lab war an verschiedenen Arbeitspaketen beteiligt, die unter Einsatz der geförderten Personal- und Sachmittel sowie Eigenleistungen bearbeitet wurden. Inhalt und Aufgaben dieser Arbeitspakete sollen im Folgenden kurz zusammengefasst werden.

Anforderungsanalyse (AP1)

Im Rahmen des AP1 – Anforderungsanalyse wurde zusammen mit den Projektpartnern und insbesondere den Medizинern der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie und des Instituts für Klinische Radiologie und Nuklearmedizin der Universitätsmedizin Mannheim Anforderungsanalysen für die Teilkomponenten und folgenden Arbeitspakete der Systemplattform M²INT erstellt. Dabei wurden speziell die Szenarien Biopsie, Brachytherapie und Radio-/Thermoablation für Anwendungsstudien betrachtet. Um die Ergebnisse in einer einheitlichen Form festzuhalten, wurden zu jedem Arbeitspaket Lastenhefte erstellt. Diese Anforderungsanalysen zusammen mit den daraus zu erarbeitenden Konzepten bilden die Grundlage für die späteren Voruntersuchungen und Evaluierungen.

Inline-Bildgebung und Sensorik (AP2.2)

Im Zuge der stetig wachsenden Anforderungen an die diagnostischen Methoden, speziell zur Entscheidungsfindung während eines Eingriffs, müssen neue, intelligente Werkzeuge zur Unterstützung des medizinischen Personals entwickelt werden.

Durch die Integration der durch den Artis ZEEGO® ermöglichten flexiblen Inline-Bildgebung in den Interventionsprozess und die Entwicklung einer intelligenten Biopsienadel zur Grobdifferenzierung von gesundem und metastatischem Gewebe wird ein wichtiger Schritt in diese Richtung getan. Als Teil dieses Arbeitspaketes sollten in Zusammenarbeit mit dem Institut für klinische Radiologie und Nuklearmedizin (Prof. Dr. Steffen Diehl) neue Verfahren und Prinzipien der Inline-Diagnostik untersucht werden. Hier steht die Entwicklung einer intelligenten Biopsienadel zur Vordifferenzierung von Gewebeübergängen im Vordergrund.

Integrierte Navigation und Registrierung (AP2.3)

Die Anwendung robotergestützter Bildgebungs- und Assistenzsysteme stellt neue Herausforderung an die Navigation und das Tracking im OP. Zur Abdeckung der hohen Dynamik- und Präzisionsanforderungen sollen diese zunächst analysiert und dann neue Trackingtechnologien entwickelt werden.

Eine weitere Kernfunktionalität des Navigationssystems soll, neben der medizinischen Anwendung, die Erfassung aller Personen und Objekte im OP in einem einheitlichen Koordinatensystem sein. Diese Information wird unter anderem zur Visualisierung der Zustände im integrierten OP und zur Kollisionsvermeidung benötigt.

Benutzerschnittstelle und Visualisierung (AP2.6)

Die Realisierung der Benutzerschnittstelle zum Navigationssystem sowie die Visualisierung der prä- und interoperativen medizinischen Bilddaten im Kontext der einzelnen Abschnitte eines Eingriffs sind weitere Aufgabengebiete der Arbeitsgruppe des EMB-Lab.

Die Benutzerschnittstelle soll durch ein sog. "App"-Konzept flexibel für die Anforderungen und Abläufe individueller Eingriffe wie z. B. Biopsie, Brachytherapie oder Thermoablation erweiterbar sein.

Parallel hierzu sollen neue Konzepte, Tracking- und Signalverarbeitungsverfahren zur berührungslosen Bedienung der Benutzerschnittstelle erarbeitet werden. Ein besonderer Schwerpunkt liegt hier in der weiteren Optimierung der Zuverlässigkeit von Eingabemethoden durch Simulation und statistische Tests in Versuchsreihen.

1.2 Voraussetzungen

Das Vorhaben wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern in Mannheim sowohl an den Einrichtungen und Labors der Hochschule als auch am Universitätsklinikum durchgeführt. Die Einrichtungen des Klinikum dienen dabei zur Sammlung erster Erfahrungen und der Erprobung der Konzepte in einem klinischen Umfeld. Dabei erhielten die Projektteilnehmer Unterstützung durch die industriellen Partner der Siemens Healthcare Diagnostic GmbH, KUKA Laboratories GmbH und der Carl Zeiss Meditec AG. Zur Koordination der Arbeitspakete und zur Präsentation von Ergebnissen sowie der laufenden Planung der Vorphase wurden 14-tägig Projekttreffen abgehalten.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Bei der Erstellung des Antrags zur Vorphase wurde ein detaillierter Arbeitsplan zur Durchführung des Vorhabens erstellt. Die Arbeitspakete der Vorphase, an denen die Hochschule Mannheim aktiv beteiligt war, sollen hier noch einmal im Zusammenhang des gesamten Zeitplans für die Vorphase dargestellt werden.

	Jahr 1											
AP 1: Anforderungsanalyse	■	■	■	■								
AP 2.1-6: Konzeption der Basisapplikationen					■	■	■	■	■	■		
AP 3.1: Konzeptevaluierung und Machbarkeitsabschätzung des Gesamtsystems												■
AP 4.1-5: Realisierung der Basisapplikationen												
AP 5.1-4: Konzeption der App's und Systeme für die klinische Anwendung												
AP : 6.1-5 Realisierung der App's und Systeme für die klinische Anwendung												
AP 7.1: Integration des Gesamtsystems												
AP 8.1: Prä-klinische Evaluierung des Gesamtsystems												
AP 9.1: Projektmanagement und -koordination	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
AP 9.2: Realisierung der Infrastruktur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Meilenstein 3: Feststellung der Machbarkeit - Abbruchkriterium												■

Abbildung 1 - Zeitplanung für die Arbeitspakete der Vorphase

Das Arbeitspaket 3, Konzeptevaluierung und Machbarkeitsabschätzung, wurde von den Projektteilnehmern gemeinsam durchgeführt, wobei im Rahmen einer Demonstration zur Evaluation der Vorphase alle Projektteilnehmer die erarbeiteten Konzepte im Zusammenhang vorstellten.

1.4 Vorarbeiten

An der Hochschule Mannheim wurden in den vergangenen Jahren von Prof. Dr. J. Backhaus u. a. in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Mannheim vielfältige Forschungsarbeiten zur Klassifizierung von IR-Spektren am Blutserum durchgeführt. Hinsichtlich der Aufgabe, ein optisches Gerät im AP 2.2 Inline-Sensorik zu erforschen, liegen beim Antragsteller langjährige Erfahrungen bei verschiedenen Geräteklassen (Brechungsindexsonde, OCT-Interferometer, konfokales Laser-Scanning-Mikroskop) vor.

Die Expertise der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. M. Vetter liegt insbesondere im Bereich von Embedded Steuerungen in der Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Sensorik-Erfassung und Verarbeitung und Aktorik in Embedded Systemen, in Echtzeitbetriebssystemen und Navigationssystemen. Durch die Einbindung von Medizintechnikern des Instituts für Informationstechnologie, AG Vetter, kann auf jahrelange Erfahrung in o. g. Bereichen insbesondere für die Erforschung eines Navigationssystems (AP 2.3), der Inline-Bildgebung und Sensorik (AP 2.2) und für die Benutzerschnittstelle (AP 2.6) zurückgegriffen werden.

1.5 Projektpartner

Im Leitprojekt M²INT wurde bereits in der Vorphase intensiv mit der Siemens Healthcare Diagnostic GmbH, KUKA Laboratories GmbH und der Carl Zeiss Meditec AG zusammengearbeitet. Die Unternehmen sind durch einen Letter of Intent und den Konsortialvertrag mit dem Forschungscampus verbunden. Die Unternehmen unterstützen den Forschungscampus durch die Bereitstellung von Investitionen, z. B. Artis ZEEGO® System/Siemens, Intrabeam/Zeiss, durch Entwicklungs- und Beratungsleistungen und ggfs. durch technische Anpassungen der verwendeten Komponenten an das Systemkonzept von M²INT, wie beispielsweise die Software des KUKA LBR iiwa. Mit weiteren Firmen laufen Kooperationsgespräche, mit denen auch eine Beteiligung weiterer Partner in parallelen Projekten angebahnt werden soll. In der Vorphase von M²INT wurde beispielsweise deutlich, dass effiziente, medizinische Abläufe im hybriden Interventionsraum von der Ausstattung des Interventionsraums, z. B. Kabelführung, Reinigungskonzepte etc., beeinflusst werden. Daher soll in Zukunft zusätzlich die Firma MAQUET als ein OP-Ausstatter beim Aufbau des experimentellen molekularen Interventionsraums auf dem Campus des Klinikums in das Projekt einbezogen werden (die Aufnahme der Firma in den Forschungscampus durch Unterzeichnung des Konsortialvertrages läuft).

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und Ergebnis der Vorphase

Im Folgenden sollen nun die Ergebnisse der Arbeitspakete dargestellt werden, an denen die Hochschule Mannheim federführend oder als Partner beteiligt war.

AP1 - Anforderungsanalyse

Im Rahmen des AP1 – Anforderungsanalyse wurden zusammen mit den Projektpartnern und insbesondere Medizинern der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie und des Instituts für Klinische Radiologie und Nuklearmedizin der Universitätsmedizin Mannheim Anforderungsanalysen für die Teilkomponenten und folgenden Arbeitspakete der Systemplattform M²INT erstellt. Dabei wurden speziell die Szenarien Biopsie, Brachytherapie und Radio-/Thermoablation für Anwendungsstudien betrachtet. Um die Ergebnisse in einer einheitlichen Form festzuhalten, wurden zu jedem Arbeitspaket Lastenhefte erstellt. Diese Anforderungsanalysen zusammen mit den daraus zu erarbeitenden Konzepten bilden die Grundlage für die späteren Machbarkeitsstudien und Evaluierungen.

Zunächst wurde innerhalb unserer Arbeitsgruppe ein gemeinsames Bild der Systeme und Schnittstellen des M²OLIE Interventionsraums erarbeitet. Dies diente als Grundlage für die Durchführung der Anforderungsanalyse, deren wichtigste Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst werden sollen.

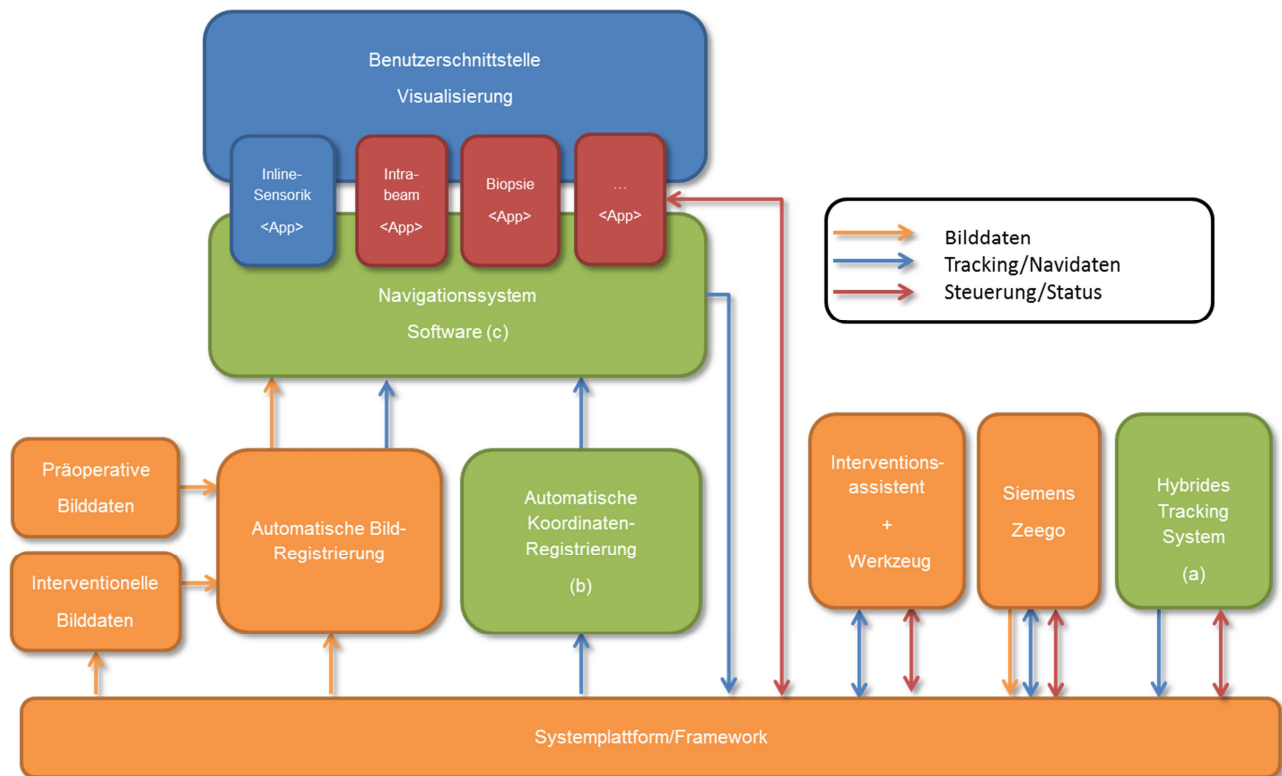


Abbildung. 2 - Blockschaftbild des M²OLIE aus Sicht des EMB-Lab

In der Darstellung in Abbildung 2 sind die einzelnen Software- und Hardwarekomponenten sowie die antizipierten Informationsflüsse dargestellt.

Das Navigationssystem besteht hier aus den Teilsystemen Hybrides Tracking System, Automatische Koordinaten-Registrierung und der Navigationssystem-Software. Schnittstellen entstehen hier zur Systemplattform für den Transport der Trackingdaten aus den verschiedenen Quellen zur Automatischen Koordinaten-Registrierung und zwischen der Registrierung und der Navigationssystem-Software, die auch eine weitere Schnittstelle zur Automatischen Bildregistrierung besitzt. Zur Benutzerschnittstelle und zu den die medizinische Applikation definierenden Apps bestehen Software-Schnittstellen, über die Konfigurations- und Navigationsdaten ausgetauscht werden. Als allgemeine Anforderungen wurden zum einen die Anforderungen der Anwendungsbereiche Interventionsraum, interventionelle Diagnostik und interventionelle Therapie und zum anderen die Anforderungen der Ärzte, weiterer Mitglieder des OP-Teams und des technischen Personals untersucht. Als grundlegende Funktionen wurden das Tracking, die Registrierung der Koordinatensysteme und die Navigation definiert. Die Erfassung der Positionen/Orientierungen im Raum wurde in unterschiedliche Klassen und Arbeitsräume wie Werkzeuge, Personen, Roboter und Personen sowie statische und mobile Objekte unterteilt. Zu den einzelnen Arbeitsräumen und Objektklassen wurden messbare Anforderungen wie Auflösung, Dynamikbereiche und Latenzen festgelegt.

Die Inline-Sensorik (Intelligente Biopsienadel) ist direkt an das Navigationssystem gekoppelt. Die Navigations-Komponente dient zur Erfassung der aktuellen Nadelposition und Orientierung. Dadurch kann eine Registrierung der intelligenten Biopsienadel in die präoperativen und interventionellen Patienten-Bilddaten erfolgen. Die Positionserfassung der Nadel wird ggf. redundant und multimodal ausgeführt, sodass ein möglichst hohes Sicherheitsniveau erreicht wird. Die intelligente Nadel stellt den verbundenen Modulen alle erforderlichen Daten über geeignete Schnittstellen zur Verfügung. Die Hauptmodule sind hierbei die Benutzerschnittstelle und die Visualisierung. Die Ereignisse der Gewebeauswertung werden durch die

Systemplattform und den Interventionsassistenten übertragen und über die Visualisierungseinheit gemeinsam mit den Positionsdaten der Nadel dargestellt. Die applikationsspezifischen Interventionsphasen des vorliegenden Moduls werden verarbeitet und an die Benutzerschnittstelle weitergeleitet. Zudem können über die Benutzerschnittstelle Konfigurationseinstellungen an der intelligenten Biopsienadel vorgenommen werden. Als allgemeine Anforderungen wurden hier die interventionelle Diagnostik durch den Arzt, sowohl manuell als auch robotergestützt, untersucht und im Lastenheft festgehalten. Als messbare Anforderungen der Inline-Sensorik wurden die Parameter Erkennungsrate, Sensibilität und Nadelvorschubgeschwindigkeit definiert.

Das Modul der Benutzerschnittstelle und Visualisierung ist über diverse Applikationen mit dem Navigationssystem verbunden. Diese Applikationen stellen der Benutzerschnittstelle alle erforderlichen Daten zur Verfügung, die dort verarbeitet werden und ggf. bei korrekter Eingabe anschließend als Befehl weitergeleitet werden. Zu diesen Daten zählen unter anderem die aktuellen Positionsdaten der Benutzer und die applikationsspezifische Interventionsphase. Die bereits vorverarbeiteten medizinischen Bilddaten und Navigationsdaten aller navigierter Geräte werden an das Visualisierungs-Modul weitergegeben. Dieses Modul ist für die gewünschte Darstellung aller Daten zuständig. Die Konfigurationsmöglichkeiten dieses Moduls sind unter anderem applikationsspezifisch beschränkt. Die beiden Module sind durch Schnittstellen miteinander verbunden, sodass ein schneller Datenaustausch stattfinden kann. Die Randbedingungen der Benutzerschnittstelle und Visualisierung sind stets an hohe Sicherheitsanforderungen angepasst. Sicherheitskritische Befehle werden zum Beispiel redundant oder multimodal ausgeführt, um das Patientenrisiko zu minimieren. Ebenfalls müssen die zu verarbeitenden Daten mit einer hohen Zuverlässigkeit bereitgestellt werden, da sonst die hohen Sicherheitsanforderungen nicht erfüllt werden können. Zu den allgemeinen Anforderungen wurden hier die Anwendungsbereiche Interventionsraum, interventionelle Diagnostik und die interventionelle Therapie sowie die Anforderungen der unterschiedlichen Benutzergruppen (Ärzte, OP-Team, technisches Personal) definiert. Als Kernfunktionalität der Benutzerschnittstelle wurde zum einen die Bedienung durch Gestensteuerung, Force-Feedback Eingabegeräte sowie konventionelle Eingabeformen spezifiziert und zum anderen die Visualisierung von multimodalen medizinischen Bilddaten, Ergebnisse der Bilddatenfusion, Status- und Konfigurationsanzeigen des Interventionsraums, applikationsspezifische Interventionsphasen und die Position/Orientierung von Robotern und Werkzeugen mit potentiellen Kollisionen festgelegt. Als messbare Anforderungen wurden die Reaktionszeit der Benutzerschnittstelle, die Erkennungsrate der Gestensteuerung und die Updateraten manueller Eingabegeräte festgelegt.

AP2.2 – Inline-Bildgebung & Sensorik

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Entwicklung eines Konzepts, um während einer Biopsie-Intervention Informationen zu erhalten, ob an der momentanen Position der Nadel ein Übergang zwischen potentiell gesundem und tumorösem Gewebe vorliegt. Die navigierte Biopsienadel soll direkt an das Navigationssystem gekoppelt sein. Die Ergebnisse werden in die Systemplattform eingespielt und über die Visualisierungseinheit gemeinsam mit den Positionsdaten dargestellt.

Um ein geeignetes Messverfahren zur Gewebedifferenzierung zu evaluieren, wurden zu Beginn grundsätzliche Messverfahren ermittelt, die sich zur Differenzierung von Tumor- und Lebergewebe eignen könnten. Zunächst wurden Messungen mittels eines kombinierten Messverfahrens aus Reflexions-Spektroskopie (Weißlicht-Spektrometrie) und Laser-Doppler-Spektroskopie an einer Schweineleber durchgeführt (O2C®, LEA Medizintechnik GmbH, Gießen). Hierbei standen die Ergebnisse der Spektroskopie im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich im Vordergrund (Detektionsbereich 450 nm bis 900 nm). Abhängig von der jeweiligen Probe (Muskel, Bindegewebe, Leber) zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den gemessenen Reflexionsspektren. Daraufhin erfolgten Messungen an menschlichen Leberresektaten mit Metastasen, welche ebenfalls positive Ergebnisse hinsichtlich der Unterscheidung von gesundem und tumorösem Gewebe zeigten. In einem nächsten Schritt erfolgten weitere experimentelle Untersuchungen mittels der Reflexions-Spektroskopie an Leberresektaten. Diese Untersuchungen wurden mit dem Ziel, spezifische Spektralbereiche für die Gewebedifferenzierung zu evaluieren, mit einem für das

Projekt beschafften Spektrometer (USB4000-VIS-NIR-ES, Ocean Optics, Duiven, NL) unter Verwendung einer externen Lichtquelle durchgeführt.

In Abbildung 3 ist der Versuchsaufbau mit einer Weißlichtquelle, einem Spektrometer, einer Messsonde sowie einem Laptop zur Datenerfassung aufgezeigt. Um den Arzt während einer Intervention mit Hilfe der intelligenten Biopsienadel über die Übergänge der Nadelspitze in ein neues Gewebe zu informieren, werden Spektralbereiche mit großen Unterschieden zwischen den Geweben evaluiert.



Abbildung 3 - Optisches Spektrometersystem mit Lichtquelle zur Durchführung der Vorversuche zur Inline-Sensorik

In Abbildung 4 sind normierte Reflexionsspektren von Leber- und Tumorgewebe von einer Weißlichtquelle zu sehen. Durch eine Normierung jedes Reflexionsspektrums über die gesamte Leistung wird sichtbar, dass die Maxima der jeweiligen Spektren der Gewebe an verschiedenen Wellenlängen positioniert sind. Es zeigte sich, dass die Spektralbereiche um 625 nm und 705 nm geeignet für eine Gewebedifferenzierung erscheinen. Diese beiden Wellenlängen bilden die Abszisse und die Ordinate, welche zur Veranschaulichung in Abbildung 4 dargestellt sind, wobei die Messwerte der unterschiedlichen Resektate von gesundem Lebergewebe in rot und die der Lebermetastase in blau aufgeführt sind (Abbildung 5). Eine Gewebeunterscheidung anhand dieser Messwerte erscheint möglich. Im weiteren Vorgehen soll anhand dieser Spektralanteile eine neue vereinfachte Hardwarelösung mit Leuchtdioden als Lichtquelle konzipiert werden.

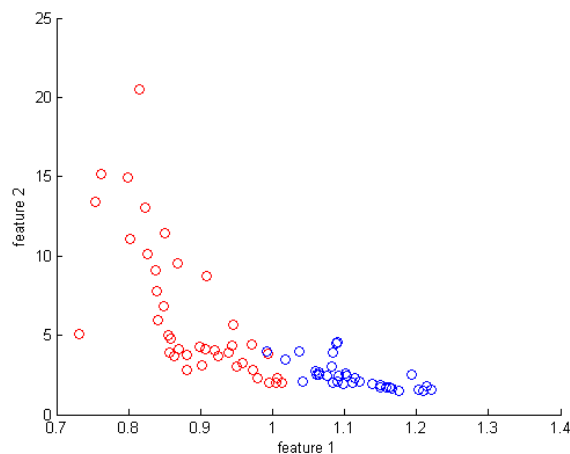


Abbildung 4 - Normierte Reflexionsspektren von Leber- (rot) und Tumorgewebe (blau) an Wellenlänge 625 nm (feature 1) sowie 705 nm (feature 2).

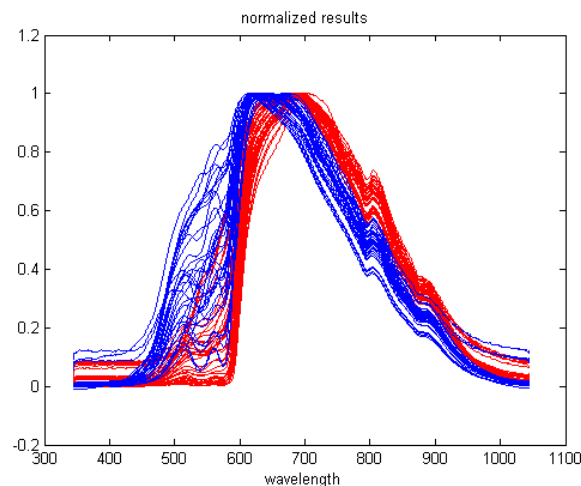


Abbildung 5 - Spektrogramme von tumorösem (blau) und gesundem (rot) Lebergewebe

Nach der Realisierung dieses Hardwareaufbaus gilt es im Rahmen einer klinischen Studie die Verifikation anhand von Messungen an Leberresektaten in der Chirurgischen Klinik der Universitätsmedizin Mannheim vorzunehmen. Für dieses Studienvorhaben wurde eine ethische und berufsrechtliche Beratung durch die Ethikkommission Mannheim II beantragt. Das Vorhaben wurde bereits begutachtet, und es liegt ein positives Votum vor.

Im Anschluss an die klinische Studie soll die technische Evaluation und Optimierung erfolgen, um ein robustes Messsystem zu gewährleisten. Um das Messverfahren in eine Biopsienadel zu integrieren, muss eine Miniaturisierung des Systems entwickelt werden. Anschließend soll eine präklinische Evaluation im OP stattfinden. Hierfür werden dann verschiedene Testszenarien entworfen und durchgeführt, um so die intelligente Biopsienadel zu optimieren.

AP2.3 – Navigationssystem

Im Arbeitspaket Navigationssystem wurden die Anforderungen an die Navigationseinheiten für den assistierten molekularen Interventionsraum erarbeitet und in ein Systemkonzept für die navigierte Intervention überführt. Die Entwicklung einer neuen Generation von hochdynamischen und stabilen Tracking- und Navigationsverfahren ist die Zielsetzung des Teilprojektes. Dies ist die Voraussetzung, um roboterassistierte Interventionen durchführen zu können. Hierzu sollen erstmals hybride Trackingverfahren in die interventionsunterstützende medizinische Navigation eingeführt werden. Die Entwicklung von MEMS-basierten Sensoreinheiten mit z. B. Accelerometern und Gyros ermöglicht miniaturisierte Marker für die hochdynamische Detektion von Bewegungen mit sehr kurzen Verzögerungszeiten. Die auf hybridem Tracking (Inertial/Optisch, Inertial/Magnetisch) basierenden neuen Navigationsverfahren lassen hoch verlässliches und dynamisches Verhalten erwarten. Dies soll die Grundlage für neue darauf aufbauende Therapieverfahren bieten, die beispielsweise teilautomatisierte, roboterunterstützte Interventionen ermöglicht. Das übergreifende Navigationskonzept hat die Aufgabe alle zur Navigation geeigneten sensorischen Daten aus Instrumenten- und Patienten-Tracking, Bildgebung (Artis ZEEGO®) sowie die Arztpositionen aktiv zu erfassen und mittels der automatischen Registrierungseinheit dem Arzt und den Robotereinheiten verfügbar zu machen.

Als grundlegendes Ergebnis der Anforderungsanalyse aus AP1 ergab sich die Notwendigkeit einer weit reichenden Erfassung von unterschiedlichen Dynamikbereichen, die nachfolgend nochmals dargestellt werden.

Die Anforderungen an die Leistungsdaten für die Erfassung der Position und Orientierung verschiedener Objektgruppen im Interventionsraum müssen für jede Kategorie getrennt betrachtet werden:

(1)	Interventionswerkzeuge	
	• Arbeitsraum:	Patient/Patientenliege/ Roboter-Arbeitsraum
	• Auflösung/Genauigkeit/Präzision:	$\leq 0,1 \text{ mm} / \leq 0,1^\circ$
	• Dynamikbereich:	8 g / 2000 °/s / 1000 Hz
	• Latenz:	$\leq 1 \text{ ms}$
	• Redundanz:	ja
(2)	Patient	
	• Arbeitsraum:	Patient/Patientenliege
	• Auflösung/Genauigkeit/Präzision:	$\leq 0,1 \text{ mm} / \leq 0,1^\circ$
	• Dynamikbereich:	2 g / 300°/s / 1000 Hz
	• Latenz:	$\leq 1 \text{ ms}$
	• Redundanz:	ja
(3)	Roboter	
	• Arbeitsraum:	Patient/Patientenliege/ Roboter-Arbeitsraum
	• Auflösung/Genauigkeit/Präzision:	$\leq 0,1 \text{ mm} / \leq 0,1^\circ$
	• Dynamikbereich:	8 g / 2000°/s / 1000 Hz
	• Latenz:	$\leq 1 \text{ ms}$
	• Redundanz:	ja
(4)	Personen	
	• Arbeitsraum:	Interventionsraum
	• Auflösung/Genauigkeit/Präzision:	$\leq 10 \text{ mm} / \leq 5^\circ$ (markerless) $\leq 1 \text{ mm} / \leq 1^\circ$ (marker based)
	• Dynamikbereich:	2 g / 300°/s / 1000 Hz
	• Latenz:	$\leq 10 \text{ ms}$
	• Redundanz:	nein
(5)	Objekte	
	• Arbeitsraum:	Interventionsraum
	• Auflösung/Genauigkeit/Präzision:	$\leq 10 \text{ mm} / \leq 5^\circ$ (markerless) $\leq 1 \text{ mm} / \leq 1^\circ$ (marker based)
	• Dynamikbereich:	2 g / 300°/s / 1000 Hz
	• Latenz:	$\leq 10 \text{ ms}$
	• Redundanz:	nein

Zur Erfüllung der unterschiedlichen Anforderungen an das Tracking von Werkzeugen, Patienten, Robotern, medizinischem Personal und allgemeinen Objekten im Raum wird ein hybrides Trackingsystem konzipiert, welches trägheitsbasierte (inertiale), optische, elektro-magnetische und funkbasierte Modalitäten kombiniert und somit individuell an die unterschiedlichen Arbeitsräume im Interventionsraum angepasst werden kann. Hierzu werden hybride Trackingtools/Markerstrukturen benötigt, für die erste Konzepte anhand eines Kalibrier- und Testphantoms erstellt wurden.

Abbildung 6 zeigt das mit Hilfe des CAD-Tools Autodesk Inventor erstellte Phantomkonzept für das multimodale Trackingsystem. Es besteht aus optischen Markern für die Trackingsysteme sowie Strukturen zur Registrierung in bildgebenden Verfahren wie CT und MRT. Zusätzlich ist hier die Integration des für das Projekt als Investition beschafften inertialen Referenzsensors *STIM300* von *Sensoror* vorgesehen, welcher Orientierungsmessungen unabhängig von externen Referenzen mit höchster Präzision ermöglicht. Mit diesem Phantom soll eine erste Erprobung und Referenzierung der Trackingkomponenten des hybriden Navigationssystems in der Realisierungsphase durchgeführt werden. Mit Hilfe eines sog. Rapid-Prototyping-

Verfahren und CNC Automaten wurden zum einen Proben für austauschbare Phantome für die bildgebenden Modalitäten erstellt und in Messungen an MRT, CT und Artis ZEEGO® auf ihre Tauglichkeit überprüft, zum anderen wurden Beleuchtungsversuche der Markerstrukturen am Phantom mit verschiedenen optisch dichten Materialien durchgeführt.

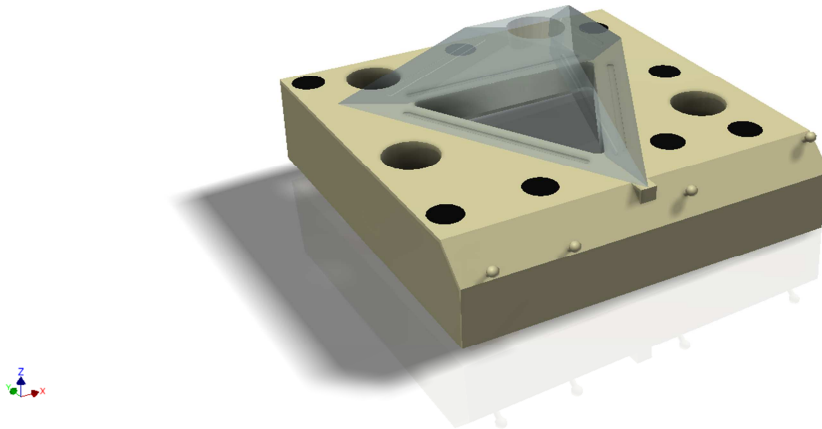


Abb. 6 - Konzept eines multimodalen Kalibrier- und Testphantoms für optisch/inertiale Trackingverfahren

Ebenfalls wurde der Einsatz von hochauflösenden Bildsensoren für die Realisierung eines neuartigen, optischen Trackingsystems mit großem Arbeitsbereich, niedriger Latenz und hoher Genauigkeit und Präzision untersucht. Als Grundlage für die Untersuchung dienten Bildsensoren der Fa. OnSemi sowie FPGA-Entwicklungswerkzeuge zur Anbindung der Sensoren an eine Entwicklungsplattform. Die grundlegende Frage, die es zu klären galt, war durch die sehr hohe Datenrate dieser Bildsensoren im Bereich von mehreren Gigabit/s gegeben. Sollte ein System mit mehreren Kameras zur Abdeckung des Arbeitsraums und Vermeidung von Verdeckung realisierbar sein, so muss die Vorverarbeitung der Bilddaten direkt am Bildsensor erfolgen, um die Bandbreitenanforderung an die Systemplattform möglichst zu reduzieren.

Für die Hauptphase sind die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Umsetzung der Konzepte aus der Vorphase geplant. Hierzu wird ein hybrides, inertial-optisches Trackingsystem mit multi-view Bildsensoren entwickelt, das hochgenaue Positionsbestimmungen mit sehr hoher Aktualisierungsrate (<1 ms) auch bei Störung einzelner Sensoren ermöglicht. Die Position von allen Personen und Objekten im erweiterten Umfeld um den Patienten im Interventionsraum soll mit Hilfe sowohl der Kombination von optischen Sensoren wie Time-Of-Flight- und Videokameras sowie Laserscannern als auch passiven und aktiven Markerstrukturen erfasst werden. Eine vollständige Identifikation und Enumeration aller Objekte zur schnellen Erfassung des Zustands und der Position aller verfügbaren Systeme des integrierten Interventionsraums soll mit Hilfe von aktiven Tags realisiert werden.

AP2.6 – Benutzerschnittstelle und Visualisierung (HSM)

Das AP2.6 – Benutzerschnittstelle und Visualisierung stellt die Umsetzung des Konzepts aus der Anforderungsanalyse der Komponenten Benutzerschnittstelle und Visualisierung für die Systemplattform M²INT dar. Die bereits getätigte Anforderungsanalyse ermöglichte sowohl die Erstellung eines Konzepts als auch einer Machbarkeitsstudie und mündete in der Erstellung eines Lastenheftes, in dem diverse Anforderungen und Rahmenbedingungen des Arbeitspakets festgelegt wurden. Es sind folgende allgemeine Anforderungen für die Visualisierung entstanden:

- Die Visualisierung soll sowohl vordefinierte „Standardansichten“ als auch standardisierte Schnittstellen zur Manipulation der Ansichten zur Verfügung stellen. Zu den „Standardansichten“ gehört zum Beispiel die Statusansicht aller Geräte und Komponenten im molekularen Interventionsraum.
- Es sollen weiterhin anwendungsspezifische Ansichten dargestellt werden können.
- Die Steuerung dieser anwendungsspezifischen Ansichten erfolgt in Form von Zustandsdefinitionen, die flexibel in die „Apps“ eingebunden werden können. Diese Zustandsdefinitionen arbeiten die spezifische Intervention der ausgewählten „App“ ab und steuern dadurch sowohl die Visualisierungs- als auch die Navigationskomponente, z. B. indem in einem geeigneten Zustand die navigierten Instrumente in einer passenden Ansicht der Visualisierungskomponente automatisch dargestellt werden.

Ein Blockschaltbild der Benutzerschnittstelle und Visualisierung mit den Schnittstellen zu der Applikationsebene mit den Zustandsautomaten ist in Abbildung 7 zu sehen.

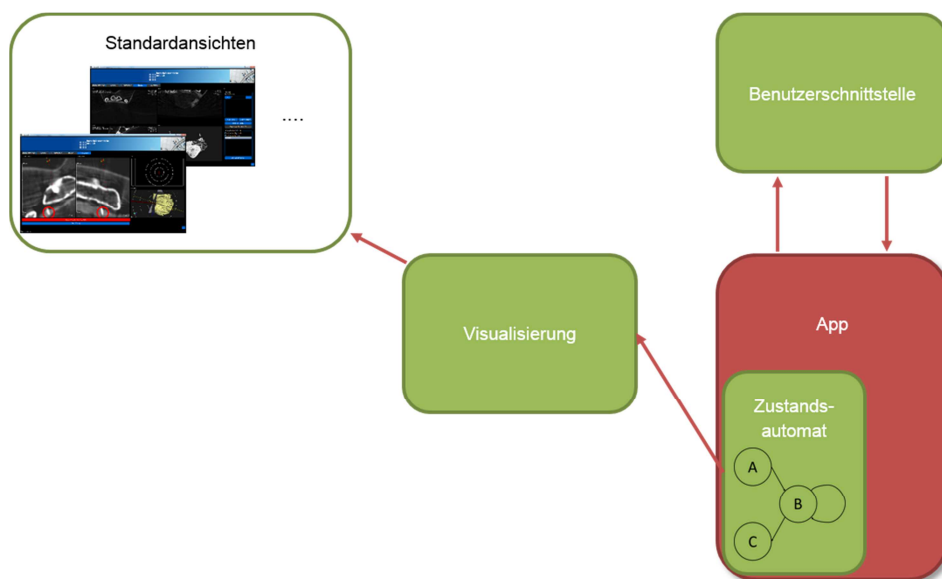


Abbildung 7 - Blockschaltbild der Visualisierung und Benutzerschnittstelle

Weiterhin wurden für die Benutzerschnittstelle folgende Anforderungen definiert:

- Die Benutzerschnittstelle soll anwendungs- und benutzerspezifische Interaktionen zur Verfügung stellen.
- Die Modalität wird entsprechend der Sicherheitsanforderungen angepasst.
- Die Standardmodalität soll durch eine kontaktlose Gestensteuerung dargestellt werden.

Es wurden bisher Verfahren zur kontaktlosen Gestensteuerung basierend auf *Hidden Markov Models* (HMM) und deterministischen Zustandsautomaten untersucht und in Form einer wissenschaftlichen Publikation im Rahmen des *International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery 2013* (CARS 2013) in Heidelberg vorgestellt. Dabei wurden unterschiedliche HMM-Netzwerke (Abbildung 8) bezüglich ihrer Klassifikationsrate systematisch untersucht. Die zu untersuchenden Parameter waren die benutzten Merkmale und die beste Kombination derer, die Anzahl an Zuständen der Modelle und die Anzahl

an Beobachtungen der Modelle. In Tabelle 1 sind die Erkennungsquoten des HMM-Netzes bezüglich der Anzahl der Zustände und Beobachtungen zu sehen. Durch diese Untersuchung wurde eine Erkennungsquote von 100 % des Validierungs-Datensatzes für fünf verschiedene HMM-Netzwerk-Konfigurationen bestimmt. Die minimale und maximale Erkennungsquote für alle iterierten Konfigurationen der HMM-Netzwerke sind für die verwendeten Merkmale in Tabelle 1 dargestellt. Als evaluierte Merkmale wurden der Winkel zwischen Handposition und Schwerpunkt der Geste θ_1 , Winkel zwischen benachbarten Handpositionen θ_2 , normalisierte Vektorlänge zwischen dem Schwerpunkt der Geste und den Handpositionen l_t , normalisierte Geschwindigkeit zwischen den Handpositionen v_t sowie Kombinationen der zuvor genannten Merkmale benutzt.

Tabelle 1 - Erkennungsquoten der evaluierten HMM-Netzwerke des Validations-Datensatzes

Merkmale	Minimale Erkennungsquote	Maximale Erkennungsquote
θ_1	70.46%	96.07%
θ_2	81.20%	92.71%
l_t	40.99%	61.42%
v_t	25.98%	53.90%
θ_1 and θ_2	72.62%	100%
θ_1, θ_2 and l_t	88.22%	98.97%
θ_1, θ_2 and v_t	86.79%	100%

Die Bedienbarkeit dieses Verfahrens wird weiterhin evaluiert. Ebenfalls wurde auf dem Kongress eine weitere Publikation vorgestellt, die den Kopf eines Benutzers mit Hilfe einer antrainierten Maske ermittelt und potentiell dazu dienen könnte, die Aufmerksamkeit des Benutzers zu ermitteln, um z. B. ungewollte Handbewegungen als solche zu klassifizieren und somit keinen Befehl auszuführen.

Des Weiteren wurde beispielhaft der Workflow des Use-Cases „Leber-Biopsie/-Ablation“ zusammen mit der Projektgruppe des Instituts für Klinische Radiologie und Nuklearmedizin (IKRN) und der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie (KSR) erarbeitet. Es wurden einzelne Schritte des Eingriffs diskutiert und daraus ein Szenario modelliert, welches in der Beispielanwendung im ersten Schritt simuliert werden soll. Erste Lösungskonzepte des Arbeitspaketes Benutzerschnittstelle und Visualisierung wurden bereits in der Vorphase erarbeitet. Hierzu wurden sowohl theoretische Teilkonzepte als auch praktische Vorversuche durchgeführt, die eine bessere Einschätzung der Machbarkeit des Arbeitspakets ermöglichen. Das Konzept des Applikations-Frameworks wurde bezüglich der Funktionalitäten und des Aufbaus erarbeitet. Hierbei sollen die Apps modular in das Framework eingefügt und deklarativ gestaltet werden können, um somit eine Flexibilität des Frameworks zu garantieren.

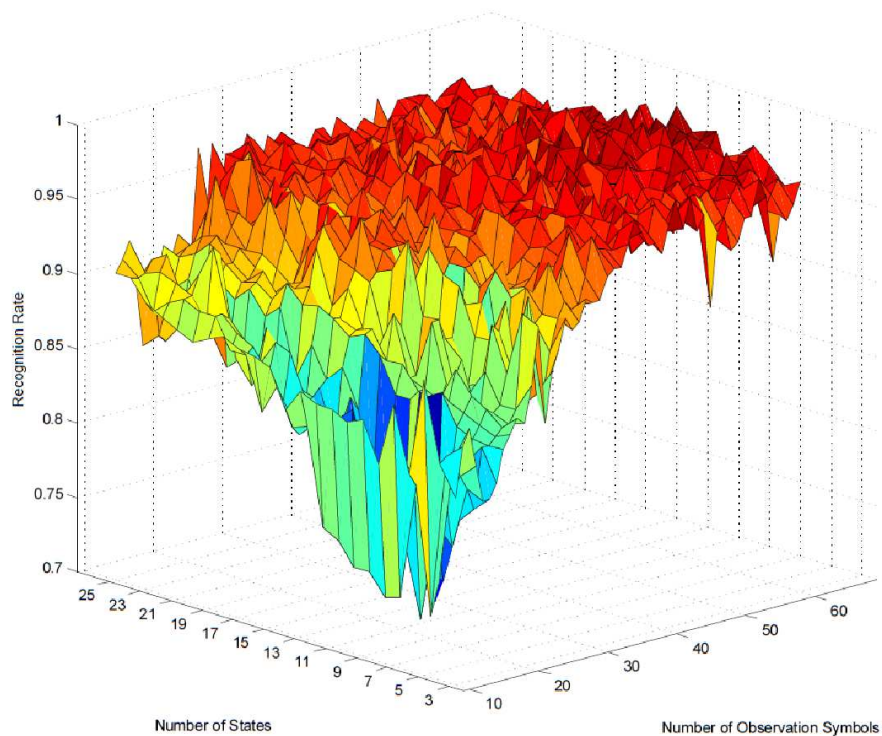


Abbildung 8 - Erkennungsquoten des HMM-Netzes bzgl. der Anzahl der Zustände und Beobachtungen

Bezüglich des Teilprojekts der Benutzerschnittstelle sind bereits Vorversuche zur Bedienbarkeit und Genauigkeit der Eingabemodalität durchgeführt worden. Dabei wurden u. a. verschiedene Filter-Algorithmen untersucht und bewertet sowie die Toleranzen bezüglich der Genauigkeit und Latenz bewertet. Zur Evaluierung wurde ein mobiles Testsystem erstellt. Dieses System setzt sich aus einer mobilen Plattform, vier bezüglich der Farbeigenschaften kalibrierfähigen 27" Monitoren (EIZO CX270), und einem Rechner (Intel i7 CPU, 12 GB Ram) zusammen. Das System wurde mobil gestaltet, um einen Transport in den Operationsraum zu ermöglichen und dort ggf. weitere Tests durchzuführen. Dieses System dient als Referenzsystem für alle zukünftigen Tests und Evaluierungen. Ein Aufbau des Referenzsystems im Hybrid-OP der Universitätsmedizin Mannheim samt *Kinect for Windows v2* und optischem Navigationssystem ist in Abbildung 9 dargestellt. Das Referenzsystem stellt auf den vier Monitoren sowohl die Navigations-App als auch einen Prototyp der Gestensteuerungs-App dar. Eine softwareseitige Trennung der Tiefensensoren als Eingabemodalität mit der Visualisierungsschicht wurde von zwei studentischen Hilfskräften durchgeführt und bezüglich der Latenz evaluiert.

Forschungscampus M²OLIE:
Entwicklung einer Systemplattform für die minimalinvasive, assistierte molekulare Intervention (M²INT)

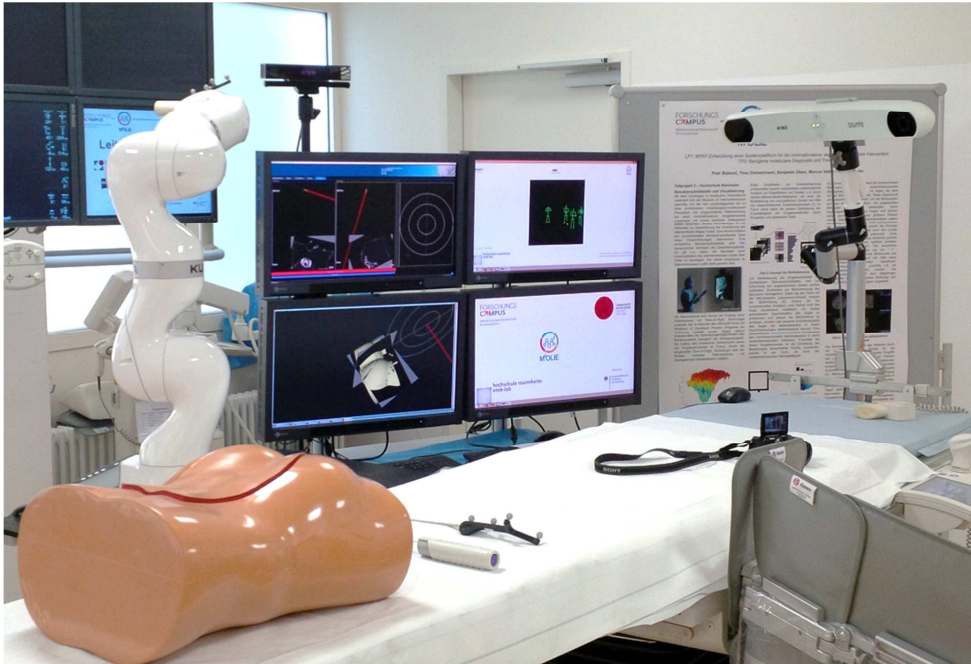


Abbildung 10 - Aufbau des Referenzsystems im Hybrid-OP des Universitätsklinikums Mannheim

Die Bedienung der Anwendung durch einen Mediziner der Universitätsmedizin mit dem Prototyp der Gestensteuerungs-App wird beispielhaft in Abbildung 10 dargestellt.



Abbildung 10 - Anwendung des Prototyps der Gestensteuerungs-App

2.2 Verwendung der Zuwendung und Ergebnis der Aufstockung

Das Teilprojekt 3 des Leitprojekts 1 M²INT des Forschungscampus wurde auf Antrag um vier Monate nach dem offiziellen Ende der Vorphase aufgestockt, um zum einen weitergehende Untersuchungen der erstellten Konzepte durchzuführen und zum anderen mit allen Projektpartnern gemeinsam einen ersten Demonstrator zur Erprobung und Veranschaulichung der Konzepte in einer realen OP-Umgebung zu erstellen.

Die Notwendigkeit einer Aufstockung begründete sich durch Erkenntnisse, die in der bisherigen Projektarbeit gewonnen wurden. Die Auswertung und weitere Untersuchung dieser (Teil-) Ergebnisse waren durch die bereits geplanten und bewilligten Arbeitspakete nicht abgedeckt. Das neu gewonnene Wissen hat Einfluss auf den Erfolg des Teil- und damit auch des Leitprojekts und sollte deshalb bei der weiteren Arbeit unbedingt berücksichtigt werden.

Erweiterung AP2.2-Inline Sensorik

Innerhalb der klinischen Vorstudie mittels Reflexionsspektroskopien an Leberresektaten, stellte sich heraus, dass die Farbabhängigkeit der Messmethode zu Problemen führen kann. Ist die visuelle Eigenschaft von Leber und tumorösem Gewebe sehr ähnlich, wird die Erkennung von Gewebeübergängen teilweise enorm eingeschränkt. Des Weiteren wird möglicherweise auch bei Einblutungen während der Intervention die farbliche Unterscheidbarkeit zwischen den Gewebeformationen nur eingeschränkt möglich sein.

Somit kann es notwendig sein, das Messverfahren der Reflexions-Spektroskopie durch ein zweites Messverfahren zu erweitern. Durch eine kombinierte Verwendung verschiedener Verfahren erhöhen sich ggf. die Genauigkeit und die Qualität der Messergebnisse. Das Arbeitspaket musste dahingehend erweitert werden, ein weiteres zerstörungsfreies Messverfahren für die Gewebedifferenzierung zu evaluieren.

In der Literatur wurde die Impedanz-Spektroskopie als eine zerstörungsfreie Methode zur Echtzeitdetektion u. a. von zellulären Veränderungen vorgestellt. Verschiedene Autoren wissenschaftlicher Publikationen zeigten, dass durch Impedanzmessungen eine Differenzierung von gesundem Gewebe und Tumorgewebe in verschiedenen Organen genutzt wird. Inwieweit dieses alternative Messverfahren eine Relevanz für die Gewebedifferenzierung der intelligenten Biopsienadel darstellt, sollte im weiteren Verlauf untersucht werden.

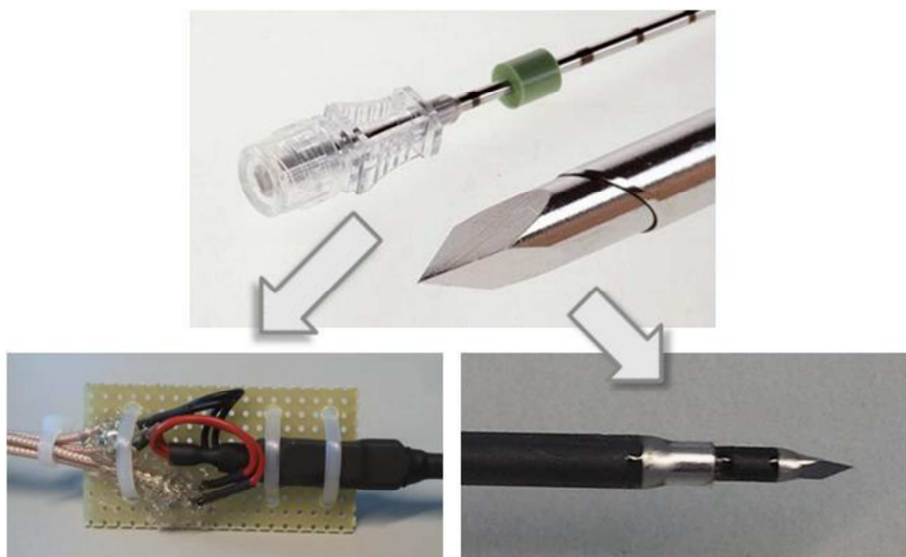


Abbildung 11 - Prototyp einer Biopsienadel zur Durchführung von Messungen zur Impedanzspektroskopie

Mithilfe des LCR-Meter HM8118 der Firma Hameg konnte eine Impedanzmessung (Abbildung 12) in einem Frequenzbereich von 10 Hz bis 200 kHz mittels einer Computersoftware umgesetzt werden. Durch die

Modifizierung einer Biopsie-Nadel (Abbildung 11) konnte über die Spitze der Nadel und dem Impedanzanalysegerät eine bipolare Impedanzmessung realisiert werden.

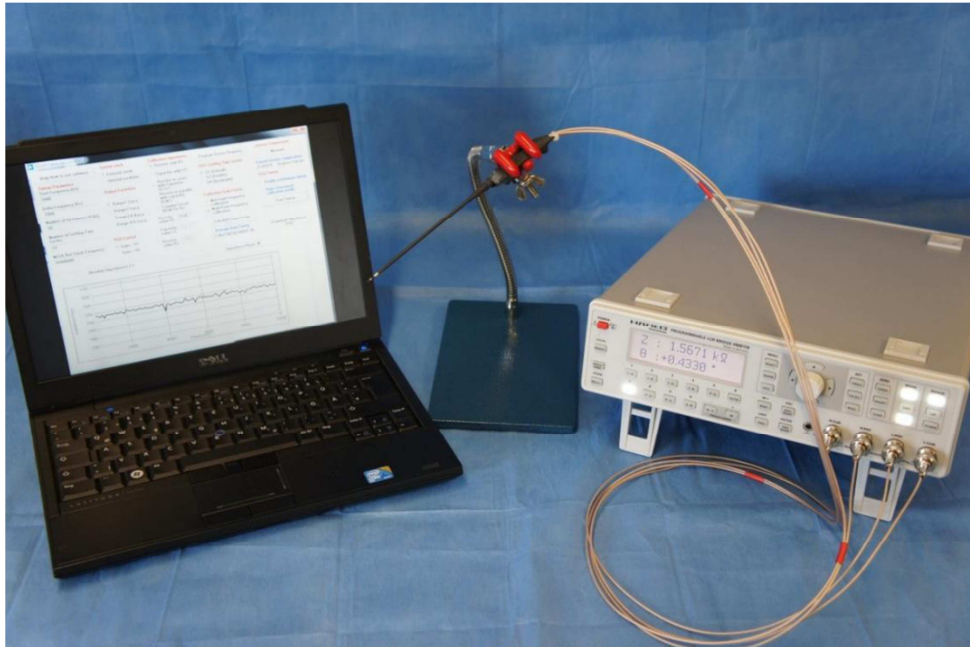


Abbildung 12 - Messaufbau zur Impedanzspektroskopie

Zur Validierung der Impedanzmessung wurden anhand der vorläufigen Modifikation der Biopsie-nadel zu einem Impedanzspektrometer eine Reihe von Messungen *ex vivo* an metastasiertem und gesundem Lebergewebe durchgeführt. Durch die Visualisierung aller Messergebnisse wird deutlich, dass eine Abgrenzung der Gewebeklassen durch die Impedanzmessung im Bereich von 100 Hz bis 200 kHz potentiell möglich ist. Die Messergebnisse von gewählten Parametern (Betrag & Phase) sind in Abbildung 13 und Abbildung 14 aufgeführt, wobei Lebergewebe rot und Tumorgewebe blau dargestellt wurden. Es zeigte sich, dass eine Klassifizierung selbst mittels der Rohdaten möglich wäre. Die stark streuenden absoluten Messwerte des gesunden Lebergewebes könnten im Zusammenhang mit der patientenabhängigen elektrischen Leitfähigkeit (Konduktivität) stehen.

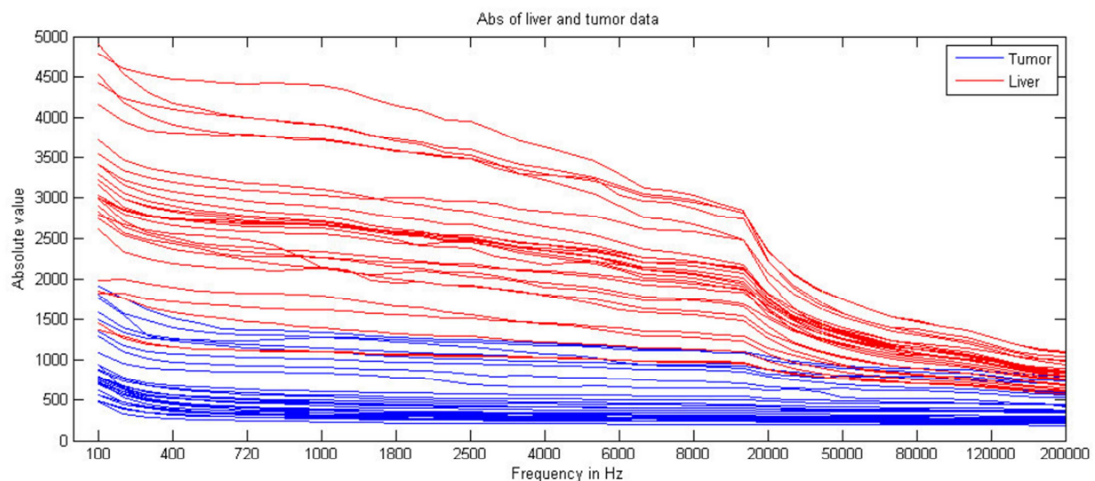


Abbildung 13 - Ergebnis einer Impedanzmessung im Bereich von 100 Hz bis 200 kHz (Betrag)

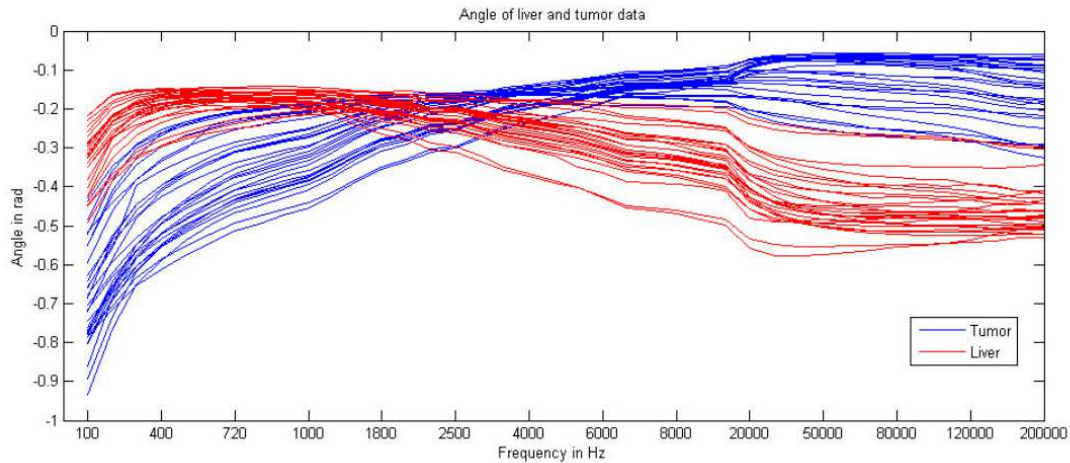


Abbildung 14 - Ergebnis einer Impedanzmessung im Bereich von 100 Hz bis 200 kHz (Phase)

Anhand der klinischen Messungen wurde der zu implementierende Frequenzbereich für ein nachfolgendes Konzept und der Umsetzung eines Messaufbaus für In-vivo-Impedanzmessungen ermittelt und daraufhin mit der Konzeption und Realisierung eines Prototypen begonnen.

Erweiterung AP2.3-Navigationssystem

In dem hier beantragten Arbeitspaket sollten die in der Vorphase bereits in Betrieb genommenen inertialen Sensoren hinsichtlich des realen zeitlichen Auflösungsvermögens und des erfassbaren Dynamikbereichs der chirurgischen Instrumente sowie die Bewegungsparameter der bildgebenden Einheiten im Interventionsraum des Artis ZEEGO® systematisch erfasst werden. Darüber hinaus sollen die Bewegungseigenschaften weiterer Objekte im Interventionsraum wie Personen, Ausstattungsgegenstände und bewegliche Infrastruktur wie Kabelführungen und Schläuche hinsichtlich ihrer Bewegungseigenschaften untersucht werden.



Abbildung 15 - Konfiguration des drahtlosen inertialen Sensorsystems zur Erfassung der Dynamikbereiche von Objekten und Personen im OP

Zur Durchführung der Versuche wurde ein drahtloses Sensorsystem (siehe Abbildung 15) aus Einzelkomponenten ausgewählt, konfiguriert und mittels Anpassung der Software für die mobilen Messungen im Klinikum vorbereitet. Messungen wurden zunächst an Personen durchgeführt, die beispielsweise den im

M²OLIE zum Einsatz kommenden Interventionsroboter KUKA LBR bedienen. Anschließend wurden Messungen an den Robotern im Hybrid-OP, vor allem dem Artis ZEEGO® und dem motorisierten Tisch sowie weiteren Objekten, durchgeführt.



Abbildung 16 - Exemplarische Darstellung der Messungen mit der mobilen inertialen Sensoreinheit und Personen und im OP

Die Ergebnisse der Messungen wurden aufbereitet und sollen in eine Publikation zu den Dynamikbereichen von Objekten im Operationssaal im Hinblick auf die Auswahl und Dimensionierung von inertialen Sensorsystemen einfließen, die auf der *CARS2015 - Computer Assisted Radiology and Surgery 29th International Congress and Exhibition* vorgestellt werden soll.

Erweiterung AP2.6-Benutzerschnittstelle

Bedingt durch die Teilnahme am *Microsoft Kinect for Windows v2 Developer Preview Program* wurde das bisherige Arbeitspaket um die Untersuchung weiterer alternativer Konzeptionsmöglichkeiten der Benutzerschnittstelle mit dem neuartigen Tiefensensor Kinect for Windows v2 erweitert. Insbesondere stehen dabei die Optimierungsmöglichkeiten des Sensorsystems bezüglich der Messgenauigkeit, der Latenz, des erfassbaren Arbeitsraums sowie der Eingabesicherheit im Fokus. Durch die eingesetzte Time-of-Flight-Technologie wird potentiell der Einsatz mehrerer Tiefenkameras mit überlappenden Arbeitsbereichen möglich, was in der Aufstockungsphase in ersten Vorversuchen evaluiert wurde. Die Teilnahme am zuvor genannten Programm ermöglichte sowohl die Bereitstellung einer Entwicklerversion eines neuartigen Tiefensensors vor Produkteinführung der Microsoft Kinect for Windows v2 als auch die Nutzung einer Kommunikationsplattform (Microsoft Connect). Die Vorversuche haben gezeigt, dass die Nutzung mehrerer Time-of-Flight-Tiefensensoren in unregelmäßigen zeitlichen Abständen zu Interferenzen führt. In Rücksprache mit Microsoft wird versucht, diese Interferenzen zu beseitigen, um einen fehlerfreien Betrieb der Tiefensensoren miteinander zu gewährleisten.

Erste Tests konnten außerdem zeigen, dass mit Hilfe des neuen Sensorsystems eine Blickerkennung des Benutzers potentiell möglich ist. Die Blickerkennung könnte die Eingabesicherheit des Systems erheblich erhöhen und ggf. als eigene Eingabemodalität implementiert werden. Ein generelles Konzept mit einer Machbarkeitsstudie wurde in Form einer wissenschaftlichen Publikation im Rahmen des *International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery 2014 (CARS 2014)* in Fukuoka, Japan vorgestellt. Dabei werden Methoden der nichtlinearen Dimensionsreduktion verwendet. Derzeit wird das Verfahren implementiert, um weitere Untersuchungen zu ermöglichen. Das generelle Vorgehen wird in Abbildung 17 dargestellt.

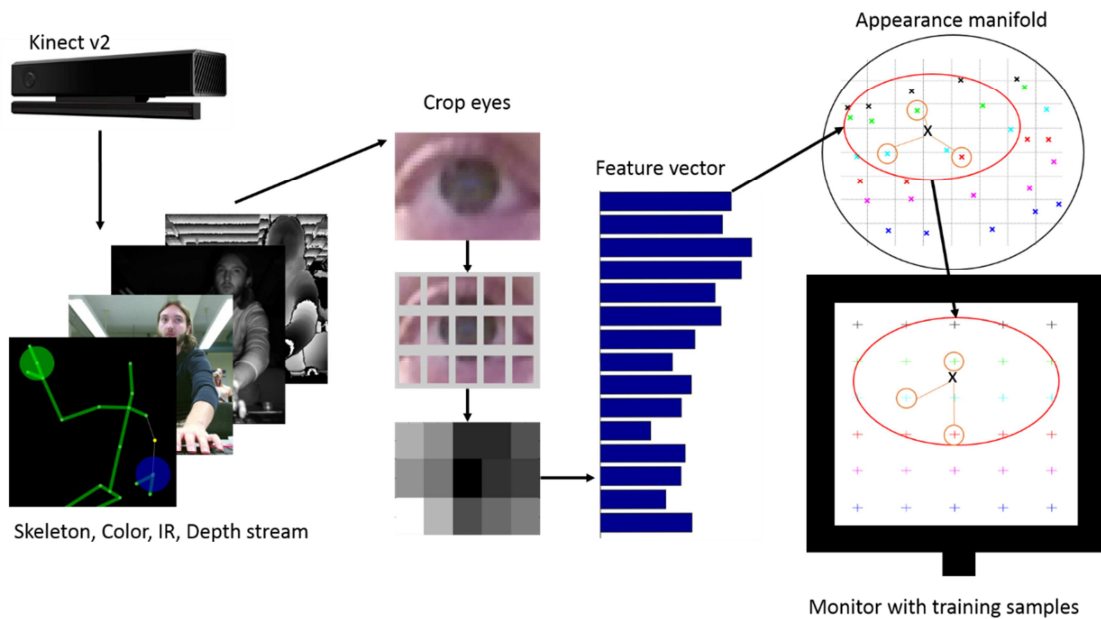


Abbildung 17 - Genereller Ansatz des Systems zur Blickerkennung mit der Kinect v2

Des Weiteren wurde ebenfalls eine wissenschaftliche Publikation auf dem Kongress vorgestellt, die ein Konzept eines neuartigen Navigationssystems konzeptionell beschreibt, welches auf der Time-of-Flight-Technologie des Kinect for Windows v2 – Sensors basiert. Dabei wurde ein neuer Marker entworfen, dessen Pose mithilfe der Infrarot-, Farb- als auch Tiefendaten ermittelt werden kann. Abbildung 18 zeigt alle zuvor genannten Aufnahmen eines Prototyps des Markers.

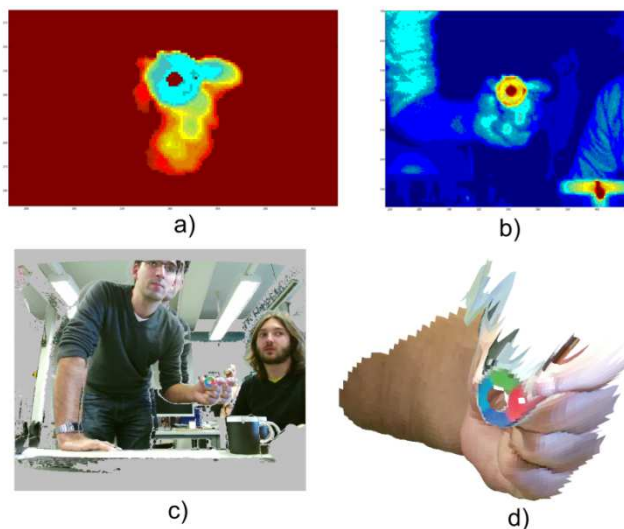


Abbildung 18 - a) Segmentierte Tiefenkarte, b) Infrarot-Bild, c) Fusion des Farbbilds mit der Punktwolke, d) Rekonstruierte 3D-Oberfläche des Markers

2.3 Zahlenmäßiger Nachweis

Folgend aufgeführt ist eine Beschreibung der Finanzierungsposten und ihrer Verwendung im Zeitraum vom 01.02.2013 bis 31.05.2014.

Position	Entstandene Ausgaben	Gesamtfinanzierungsplan
0812	79 556 Euro	100 221 Euro
0817	51 353 Euro	51 289 Euro
0822	14 851 Euro	10 410 Euro
0831	1 368 Euro	600 Euro
0843	5 474 Euro	4 654 Euro
0846	4 957 Euro	6 000 Euro
0850	31 313 Euro	29 475 Euro
Summe	188 874 Euro	202 649 Euro

(ohne Gewähr, Zahlen Stand 05.06.2014, verbindliche Angaben s. Verwendungsnachweis)

0812+0817: Ausgabenart Beschäftigte E12-15 / E1-11

Zur Bearbeitung der Arbeitspakete eingesetzte wiss. Mitarbeiter, entgegen der ursprünglichen Planung mit zwei E13-Stellen für Mitarbeiter mit Abschluss als M. Sc. wurden auch qualifizierte Mitarbeiter mit Abschluss als B. Sc. mit E10-Vergütung eingesetzt, weshalb die entstandenen Ausgaben etwas unterhalb der Planung liegen und hier nicht alle verfügbaren Mittel ausgeschöpft wurden.

0822: Sonst. Beschäftigungsentgelte

Zur Unterstützung der verschiedenen Arbeitspakete wurden wissenschaftliche Hilfskräfte in einem etwas über der Planung liegenden Umfang eingesetzt, der durch die zahlreichen, neben der Erstellung der Lastenhefte und Konzeption durchgeführten Voruntersuchungen zustande kam.

0831: Gegenstände bis 410 Euro

Zur Durchführung von Vorversuchen und Herstellung von Demonstratoren für das Trackingsystem und die Benutzerschnittstelle wurden ein FPGA-Development Kit der Fa. Enclustra, Kamerazubehör und Aluminiummaterial beschafft.

0843: Sonst. Allg. Ausgaben

Beschaffung von Verbrauchsmaterial für 3D-Drucker (Rapid Prototyping) und Fräsmaschine zur Herstellung von Demonstratoren und Prototypen von Trackingsystemkomponenten (Phantom) zur Versuchsdurchführung der In-Line-Sensorik und Demonstrationsaufbauten bei der Begehung und Evaluation des Forschungscampus.

0846: Dienstreisen

Dienstreisen von Projektmitarbeitern zur CARS2013 (Heidelberg/Germany) Computer Assisted Radiology and Surgery, 27th International Congress and Exhibition und CARS2014-Computer Assisted Radiology and Surgery, 28th International Congress and Exhibition zur Präsentation von Konferenzbeiträgen. Dienstreise von Projektmitarbeitern zur LOPEC2014 – 7. Internationale Fachmesse und Kongress für gedruckte Elektronik in München zur Informationsbeschaffung

0850: Investitionsgegenstände über 410 Euro

Beschaffung eines Spektrometers und Zubehör für die In-Line-Sensorik, eines Monitorsystems für die Entwicklung und Demonstration der Benutzerschnittstelle sowie Test- und Referenzsensoren für das hybride Trackingsystem (Kamerasensoren sowie Inertiales Messsystem) mit Zubehör laut ursprünglicher Antragstellung & AZA sowie Anlagen/Angebote zum AZA.

Die Gegenstände sollen direkt im Projekt M²INT im Rahmen der beantragten Hauptphase weiterverwendet werden und zusätzlich im Rahmen der Lehre und weiterer wissenschaftlicher Arbeiten am Institut (EMB-lab) zum Einsatz kommen.

2.4 Notwendigkeit der Zuwendung

Das interdisziplinär aufgestellte Leitprojekt M²INT wurde von drei Forschungseinrichtungen erarbeitet. Die Hochschule Mannheim realisierte im Leitprojekt die Themen Navigation, Inline-Sensorik sowie die Benutzerschnittstelle. Die applikationsspezifischen sowie klinischen Anforderungen wurden in Zusammenarbeit mit der Universitätsmedizin Mannheim, Medizinische Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg, erarbeitet. Die Systemplattform, der Interventionsassistent sowie die Registrierungskomponente des Leitprojektes 1 wurde von der Fraunhofer-Projektgruppe PAMB erarbeitet. Ohne die Kompetenzen der beteiligten Projektpartner konnte die interdisziplinäre Aufgabe von der Medizintechnik/EMB-Lab der Hochschule Mannheim nicht geleistet werden. Insgesamt handelte es sich bei der Erforschung und Entwicklung des assistierten molekularen Interventionsraums um sehr arbeitsintensive, weit in die Grundlagenforschung hineingehende Aktivitäten. Keiner der beteiligten Partner kann ein solches Projekt aufgrund des fehlenden Knowhows in hochspezialisierten Fachgebieten alleine stemmen. Alle Partner brachten jedoch jahrelange Erfahrung in ihrem Fachgebiet mit, sodass das Projektziel gemeinsam durch die Bündelung des Knowhows aller Projektpartner erreicht werden konnte.

Von der Durchführung des Forschungsvorhabens in Deutschland im Rahmen des Forschungscampus M²OLIE in Mannheim kann ein wesentlicher Beitrag zum Erhalt von Arbeitsplätzen in Deutschland und der Sicherung des Forschungsstandortes erwartet werden.

2.5 Ergebnisverwertung

Neben der Nutzung des assistierten molekularen Interventionsraumes für medizintechnische Fragestellung strebt die Medizintechnik der Hochschule Mannheim an, Schutzrechte anzumelden und später Lizenzen zu vergeben. Alle Ergebnisse sollen, ohne jedoch eine Schutzrechtsanmeldung zu gefährden, in wissenschaftlichen Fachjournalen veröffentlicht werden und in die Lehre des Studiengangs Medizintechnik einfließen.

Nach Abschluss des Leitprojektes soll der assistierte molekulare Interventionsraum für weitere wissenschaftliche Fragestellungen auf dem Gebiet der Medizintechnik zur Verfügung stehen. Auch ist es geplant in Kooperation zwischen den beteiligten Projektpartnern die Ergebnisse des Leitprojekt 1 in die medizinische Versorgung des Universitätsklinikums Mannheim sowie ähnlich ausgerichteter universitärer Einrichtungen einfließen zu lassen.

2.6 Veröffentlichungen und Dienstreisen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Dienstreisen von Projektmitarbeitern zur *CARS2013 (Heidelberg/Germany) Computer Assisted Radiology and Surgery, 27th International Congress and Exhibition* und *CARS2014-Computer Assisted Radiology and Surgery, 28th International Congress and Exhibition (Fukuoka/Japan)* zur Präsentation von eingereichten Konferenzbeiträgen getätigt, die im Folgenden aufgelistet sind:

Int J CARS (2014) 9 (Suppl 1):S117–S122; DOI 10.1007/s11548-014-1029-5

Towards appearance-based gaze estimation for touch-less user interfaces in medical interventions and categorical gaze pattern recognition using Hidden Markov models

P. Bialecki¹, M. Vetter¹

¹ Mannheim University of Applied Sciences, EMB-Lab, Mannheim, Germany

Int J CARS (2014) 9 (Suppl 1):S311–S355; DOI 10.1007/s11548-014-1049-1

Concept for Kinect™ v2 time of flight marker tracking for medical applications

S. Hohnstein¹, P. Bialecki¹, T. Zimmermann¹, M. Vetter¹

¹ Hochschule Mannheim, EMB-Lab, Mannheim, Germany

Int J CARS (2013) 8 (Suppl 1):S171–S179; DOI 10.1007/s11548-013-0866-y

Combining categorical gesture recognition using Hidden Markov Models and spatio-temporal pattern recognition for user interfaces in medical interventions

P. Bialecki¹, M. Vetter¹

¹ Mannheim University of Applied Sciences, EMB-Lab, Mannheim, Germany

Int J CARS (2013) 8 (Suppl 1):S45–S62; DOI 10.1007/s11548-013-0850-6

Infrared head position tracking: towards markerless prospective motion correction

A. Granizo¹, M. Vetter¹

¹ Mannheim University of Applied Sciences, Emb-Lab, Mannheim, Germany